# Kurzbericht

- öffentlich -

Zuwendungsempfänger: Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Projektleitung: Prof. Dr. C. Blume

Verbund: 05P2021 (ErUM-FSP T06)

Thema: „Aufbau von CBM bei FAIR: Bau eines Transition Radiation Detectors für das CBM Experiment bei FAIR“

## 1. Ziel und Inhalt des Projektes

Dieses Projekt ist Bestandteil des gemeinsamen Antrags der beteiligten deutschen Gruppen zur BMBF Verbundforschung zum Bau des Compressed Baryonic Matter (CBM) Experiments. Dieser ist Teil des BMBF Förderschwerpunktes C.B.M.@FAIR. Das Ziel dieses Projekts ist der Bau des Transition Radiation Detectors (TRD) für das CBM-Experiment bei FAIR. Das CBM-Experiments wird der Erforschung des QCD Phasendiagramms im Gebiet sehr hoher Netto-Baryonendichten (bzw. großer baryo-chemischer Potentiale) dienen. Von besonderem Interesse sind die Phasenstruktur und die Zustandsgleichung baryonischer Materie bei höchsten Dichten, wie sie z.B. auch im Zentrum von Neutronensternen auftreten. Die Schwerionenstrahlen der zukünftigen FAIR Beschleunigeranlage bieten exzellente Voraussetzungen zur Erzeugung und Erforschung dieser Art von Kernmaterie und das CBM-Experiment wird die Messung einer Vielzahl von Observablen ermöglichen, von denen viele zum ersten Mal im Bereich hoher Baryonendichten untersucht werden können. Dies beinhaltet unter anderem die Suche nach Signaturen für die Phasengrenze zwischen Hadrongas und Quark-Gluon Plasma und nach einem möglichen kritischen Punkt im QCD Phasendiagramm, als auch das Studium von Medium-Modifikationen von Hadronen in dichter Materie. Das CBM-Experiment wird für die kommenden Jahrzehnte hervorragende wissenschaftliche Möglichkeiten bieten und einen sehr wichtigen Beitrag zur Ausbildung von Physikern/-innen leisten. Die wissenschaftliche Zielsetzung der Experimente mit CBM an FAIR ist im Detail im gemeinsamen Antrag zur BMBF-Verbundforschung im Rahmen des BMBF Forschungsschwerpunkts C.B.M.@FAIR dargelegt.
Als eine wichtige Komponente des CBM-Experiments ist der TRD insbesondere auf den Nachweis von Elektronen bei höheren Impulsen, sowie von leichten Kernen ausgelegt. Er ist damit von entscheidender Bedeutung für zwei wichtige Punkte im Physik-Programm von CBM, nämlich die Messung von thermischen Dielektronen und von Hyperkernen. Der Detektor wird aus 216 Modulen bestehen, die sich jeweils aus einer Vieldrahtproportionalkammer und einem Radiator, sowie der zugehörigen Ausleseelektronik zusammensetzten. An der Goethe-Universität wird dieses Projekt von zwei Forschergruppen im Rahmen von zwei Teilprojekten (TP) bearbeitet. Das erste Teilprojekt (TP1) ist im Institut für Kernphysik angesiedelt und befasst sich, unter der Leitung von Prof. C. Blume (CBM-TRD Projektleiter), mit dem Bau von Komponenten für den CBM-TRD und der Analyse von HADES Daten. Dies beinhaltet den Bau und Test der TRD-Detektormodule selber, als auch, in enger Zusammenarbeit mit der AG Fischer, Universität Heidelberg, und der AG Kebschull, Universität Frankfurt (s. TP2), die Entwicklung und Bau der benötigten Front-End-Elektronik und Spannungsversorgung (LV-

System). Darüber hinaus werden Software-Entwicklungen für den CBM-TRD betrieben, Algorithmen zur Rekonstruktion von Hyperkernen unter Anwendung von Machine Learning Methoden entwickelt und Daten des HADES Experiments hinsichtlich kollektiver Flussphänomene analysiert.
Das zweite Teilprojekt (TP2) wird im Institut für Infrastruktur und Rechnersysteme in der Informationsverarbeitung (IRI) unter der Leitung von Prof. U. Kebschull bearbeitet und behandelt DAQ-Entwicklungen für den CBM-TRD. Hierzu wird FPGA-Firmware für die TRD-Auslese unter Verwendung von High-Level-Synthese (HLS) entwickelt. Dabei werden insbesondere Algorithmen zur Feature Extraction, die online innerhalb der TRD-Firmware eine erste Datenanalyse und -reduktion durchführen können, implementiert und getestet.

## 2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

**TP1 (AG Blume):**
Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden zwei Vorserien-Module vom Typ-5, d.h. große Module der Dimension 95 x 95 $cm^2$ mit feiner Auslese-Granularität, fertig gestellt und die Serienproduktion von Komponenten der Typ-5-Module gestartet. Die beiden fertigen Module wurden anschließend in den mCBM-Aufbau integriert, in Betrieb genommen und während mehrerer Strahlzeiten am SIS18, GSI, Darmstadt erfolgreich getestet. Erfahrungen aus diesen Tests wurden genutzt um die Qualitätssicherung während der Modulproduktion zu verbessern. Zusammen mit weiteren Vorserien-Modulen, die derzeit im Bau sind und anschließend allen notwendigen Tests unterzogen werden sollen, stellen diese Erfahrungen die Grundlage für den Abschluss des derzeit laufenden Production Readiness Reviews (PRR) dar. Anschließend werden dann die restlichen Typ-5 Module fertiggestellt, worauf im Anschluss mit der Serienproduktion der Typ-3 Module fortgefahren werden kann. Die entsprechenden Materialien dafür sind bereits beschafft worden, bzw. sind derzeit in der Bestellung. Weiterhin wurde die Entwicklung der Front-End-Elektronik (FEE) vorangetrieben. Die beiden Typ-5 Vorserien-Module im mCBM-Aufbau konnten vollständig mit der letzten Version der FEBs ausgestattet werden, so dass die gesamte Detektoroberfläche zur Datennahme zur Verfügung stand. Der Start der FEB-Massenproduktion wird erfolgen, wenn die finale Version des Auslese-ASICs (SPADIC 3.1) zur Verfügung steht. Die bisherigen Erfahrungen aus dem Betrieb der FEE in mCBM konnten dazu genutzt werden, um das LV-Verteilungssystem zu konzipieren und zu testen. Insbesondere wurden hier Optimierungen hinsichtlich des Erdungsschemas erreicht. Darüber hinaus wurden Software-Entwicklungen für den CBM-TRD betrieben (detailliertes Modell der TRD-Geometrie in der Simulationssoftware, Algorithmen zur Auslese und Verarbeitung von TRD-Rohdaten, Verbesserung und Validierung der Detektorsimulation), Algorithmen zur Rekonstruktion von Hyperkernen unter Anwendung von Machine Learning Methoden entwickelt und Daten des HADES Experiments hinsichtlich kollektiver Flussphänomene analysiert.
**TP2 (AG Kebschull):**
Innerhalb dieses Teilprojekts wurden die Algorithmen zur Feature Extraction in der TRD-CRI Firmware implementiert und mit realen Daten im mCBM-Aufbau erfolgreich getestet. Sie erlauben die korrekte Verarbeitung von 'multi-hits', welche auftreten, wenn eine vorherige Nachricht durch eine neue abgebrochen wird. Außerdem wurden die Dekodierung und das Monitoring von Exception-Nachrichten des SPADICs implementiert. Weiterhin erlauben die entwickelten Algorithmen eine genaue Rekonstruktion der pro Auslesepad deponierten Energie und der Signalankunftszeit. In einem nächsten Schritt wurde auch ein Cluster-Finding-Algorithmus entwickelt, der für das free-streaming Konzept von CBM optimiert ist.

## 3. Darstellung der wesentlichen Ergebnisse und deren konkreter Nutzen sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das CBM-Experiment wird für die kommenden Jahrzehnte hervorragende wissenschaftliche Möglichkeiten bieten und einen sehr wichtigen Beitrag zur Ausbildung von Physikern/-innen leisten. Die wissenschaflichen Resultate werden in einer Vielzahl von Journalen publiziert, sowie auf internationalen Konferenzen präsentiert und diskutiert werden. Mit dem Betrieb der TRD-Prototypen im mCBM-Aufbau konnten viele wichtige Erfahrungen gesammelt werden, die für das Design und den Betrieb des CBM-TRDs relevant sind. Da die TRD-Vorserien-Module in mCBM erfolgreich getestet werden konnten, wird es möglich sein das CBM-TRD-Projekt, trotz Verzögerungen im der FAIR-Gesamtplanung, innerhalb des Zeitplans des CBM-Experiment fertig zu stellen. Die im Rahmen von TP2 entwickelte TRD-Firmware ist dabei essentiell für den Betrieb des Detektors. Hier konnte eine realistsche TRD-Auslesekette mit Feature-Extraction-Algorithmen implementiert und getestet werden.